

Tepelná čerpadla pro vytápění rodinných domů

Heat Pumps for Heating of Family Houses

Jan Ševčík

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. ing. Vladimír Král. Ph.D

Ostrava, Rok 2021

Čestné prohlášení

„Potvrzuji tímto, odevzdání své digitální kvalifikační práce. Prohlašuji, že jsem tuto kvalifikační práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

Abstrakt a klíčová slova

Abstrakt

Práce se zabývá současnými způsoby vytápění rodinných domů v České republice. Jsou zde popsány současné trendy, v možnostech vytápění rodinných domů a další možnosti použití zdrojů tepla k vytápění. Domy můžeme rozdělit dle výstavby na starší rodinné domy, nové výstavby a nízkoenergetické pasivní domy (téměř nulové budovy). Práce obsahuje jednotlivé typy, principy a náročnost na provoz jednotlivých typů vytápění. Je zde popsán základní princip tepelných čerpadel, rozdělení tepelných čerpadel, užívání tepelných čerpadel. Jsou charakterizovány rozdíly mezi jednotlivými vlastnostmi a náležitostmi použití jednotlivých typů zdrojů vytápění. Práce porovnává výhody a nevýhody vhodných zdrojů k vytápění rodinných domů.

Klíčová slova

Vytápění, tepelná pohoda, rodinný dům, vytápění zemním plynem, elektrický kotel, tepelné čerpadlo, chladivo, hybridní vytápění

Abstract

The work deals with current methods of heating houses in the Czech Republic. There are described current trends in the possibilities of heating family houses and other possibilities of using heat sources for heating. You can divide houses according to construction into older family houses, new constructions and low-energy passive houses (almost zero buildings). The work contains individual types, principles and complexity of operation of individual types of heating. It describes the basic principle of heat pumps, the division of heat pumps, the use of heat pumps. Differences between individual properties and opportunities for use of individual types of heating sources are characterized. The work compares the advantages and disadvantages of using sources to heat houses.

Key words

Heating, thermal comfort, family houses, natural gas heating, electric boiler, heats pumps, refrigerant, hybrid heater

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Vladimíru Královi Ph.D za odborné vedení, trpělivost a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

Obsah

Úvod.....	7
1. Způsoby vytápění rodinných domů.....	12
1.1. Vytápění tuhými palivy uhlí, dřevo.....	13
1.1.1 Specifické vlastnosti pevných paliv	14
1.2. Vytápění zemním plynem	15
1.2.1. Kondenzační kotle	16
1.2.2. Nízkoteplotní plynové kotle.....	17
1.3. Vytápění elektrickou energií	17
1.3.1. Elektrické přímotopy	17
1.3.2. Elektrokotle.....	18
1.3.3. Podlahové vytápění.....	19
1.3.4. Stěnové vytápění.....	19
1.3.5. Stropní vytápění	20
1.3.6. Akumulační vytápění	20
2. Tepelné čerpadlo	21
2.1. Carnotův cyklus	21
2.2. Rankinův cyklus	22
2.3. Cyklus tepelného čerpadla	23
2.4. Kritéria pro provoz tepelných čerpadel.....	24
2.4.1. Topný faktor tepelných čerpadel.....	24
2.4.2. Provozní režimy tepelných čerpadel	25
2.4.2.1. Monovalentní provoz	25
2.4.2.2. Monoenergetický provoz.....	25
2.4.2.3. Bod bivalence.....	25
2.4.2.4. Alternativně - bivalentní provoz.....	26
2.4.2.5. Paralelně - bivalentní provoz	26
2.4.2.6. Částečně paralelně - bivalentní provoz.....	27
2.5. Základní části tepelného čerpadla	27
2.5.1. Kompresor.....	27
2.5.2. Expanzní ventil	29
2.5.3. Výparník.....	29
2.5.4. Kondenzátor.....	29

2.5.5. Výměník	29
2.5.6 Chladivo	30
3. Typy tepelných čerpadel	32
3.1. Tepelné čerpadlo vzduch/voda	32
3.2. Tepelné čerpadlo země/voda	33
3.2.1. Plošný kolektor.....	33
3.2.2. Vrt.....	33
3.3. Tepelné čerpadlo voda/voda.....	35
3.4. Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch	36
4. Kritéria pro volbu optimálního tepelného čerpadla.....	37
5. Hybridní vytápění.....	38
Závěr	39
Bibliografie	41

Seznam symbolů a zkratk

Atd	A tak dále
C ₂ H ₆	Ethan (R170)
C ₃ H ₆	Propylen (R1270)
C ₃ H ₈	Propan (R290)
CFCL ₃	R11
CF ₂ CL ₂	R12
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý (R744)
COP	Topný faktor, Coefficient of Performance
D25d, D26d, D35d, D36d, D45d	Dvoutarifové sazby cen elektrické energie
DZ	Druhý zdroj topného systému
EEV	Elektronický expanzní ventil
η [%]	Účinnost
h [%]	Vlhkost
H ₂ O	Voda
GWP	Potenciál globálního oteplování, Global warming potential
H [MJ/kg]	Výhřevnost
CH ₄	Methan
CHF ₂ CL	R22
l [m]	Délka, hloubka
N ₂	Dusík
NH ₃	Amoniak – čpavek (R717)
NO _x	Oxidy dusíku
NZEB	Téměř nulová budova, Nearly zero-energy Buildings
p [MPa]	Tlak
p [bar]	Tlak
P [kW]	Výkon
P _H [kW]	Tepelný výkon
P _E [kW]	Elektrický příkon jednotky
Q [W]	Tepelné ztráty

Q_o [W]	Teplo odevzdané
Q_p [W]	Teplo přijaté
Q_{el}	Energie získaná ze sítě pro kompresi
Q_{in}	Energie získaná z nízkopotenciálního zdroje tepla
Q_{out}	Celková energie dodaná tč. do topného systému
S [kJ/kg]	Entalpie
SCOP	Sezonní topný faktor
SO_3	Oxid sírový
t [°C]	Teplota
tč	Tepelné čerpadlo
t_{spalin} [°C]	Teplota spalin
t_b [°C]	Teplota bivalence
T [K]	Teplota
T_c [°C]	Teplota kondenzace
T_E [°C]	Teplota vypařování
TEV	Tepelný expanzní ventil
Tzv.	Takzvaný

Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma teplovodního kotle na tuhá paliva	15
Obrázek 2 Princip konvenčního kotle a kondenzačního plynového kotle	16
Obrázek 3 Schéma stacionárního kondenzačního plynového kotle	17
Obrázek 4 Elektrický kotel	18
Obrázek 5 Carnotův ideální pracovní cyklus (pravotočivý)	21
Obrázek 6 Pracovní cyklus tepelného čerpadla dle Carnotova cyklu (levotočivý)	21
Obrázek 7 Ideální Rankinův oběh (vlevo) a reálný oběh (vpravo)	22
Obrázek 8 Princip tepelného čerpadla	23
Obrázek 9 Monovalentní provoz tepelného čerpadla	25
Obrázek 10 Alternativně bivalentní provoz tepelného čerpadla	26
Obrázek 11 Paralelně bivalentní provoz tepelného čerpadla	26
Obrázek 12 Částečně paralelně bivalentní provoz tepelného čerpadla	27
Obrázek 13 Kompresor scroll	28
Obrázek 14 Dvojitý rotační kompresor	28
Obrázek 15 Deskový letovaný výměník	30
Obrázek 16 Lamelový letovaný výměník	30
Obrázek 17 Princip tepelného čerpadla vzduch/voda	32
Obrázek 18 Tepelné čerpadlo země/voda plošný kolektor	33
Obrázek 19 Schéma vrtu pro tepelné čerpadlo země/voda	34
Obrázek 20 Tepelné čerpadlo země/voda vrt	35
Obrázek 21 Schéma trivalentního hybridního vytápění	38

Seznam tabulek

Tabulka 1 přehled staveb podle energetické náročnosti	10
Tabulka 2 Prodej teplovodních zdrojů tepla do 50 kW	12

Seznam grafů

Graf 1 Prodeje teplovodních zdrojů tepla do 50kW	12
--	----

Úvod

Současný vývoj vytápění v České republice, ale i v celé Evropské Unii směřuje k výměně starých kotlů na tuhá paliva. Legislativa zakazuje provoz kotlů nesplňujících emisní normu a zároveň klade požadavek na zvýšení účinnosti a snižování energetické náročnosti budov. Rostoucí ceny paliv, jakými jsou zemní plyn, elektrická energie jsou důvodem, proč si lidé volí vytápění, které bude pro ně znamenat co největší úsporu, ale také se zajímají o minimální požadavky na údržbu a také o ekologický provoz, na rozdíl od vytápění fosilními palivy. Mezi nejčastěji používanými druhy kotlů jsou využívány kotle na dřevo, úsporné kondenzační kotle nebo alternativní zdroje, biomasy nebo tepelná čerpadla, která jsou jednou z možností. Při rozhodování tomu může napomocť dotační program „Kotlíkové dotace“. [4]

Rodinné domy můžeme dělit podle stáří výstavby, ať už starší opravené, zateplené – izolované, kdy výrazně klesají ztráty tepla (výměna oken, zateplení fasády a další stavební úpravy napomáhající eliminaci tepelných mostů) nebo výstavbu nové koncepce rodinných domů, a to nízkoenergetické domy.

Nízkoenergetické domy jsou konstrukčně řešeny tak, aby náklady s provozem, týkajících se hlavně vytápění byly co nejmenší v době neustále rostoucích cen energií. Směrnicí Evropského parlamentu z 1. 1. 2020 je stanoveno, aby novostavby byly realizovány jako „Téměř nulové budovy“. Téměř nulová budova (NZEB - Nearly zero-energy Buildings má přísnější požadavky na obálku budovy, dobře regulovatelné vytápění, větrání i osvětlení, technické systémy pokrývající potřebu energie s vysokou účinností a aby byla budova zásobována částečně z alternativních zdrojů energie, nebo případně energii produkuje (elektřina, teplo). Novostavby budou muset být v pasivním standardu nebo spotřebovávat minimální až téměř žádnou energii, případně budou mít nulovou bilanci spotřebované a vyrobené energie. [4]

Tabulka 1 přehled staveb podle energetické náročnosti.[18]

běžné domy v 70. 80. létech	současná no- vostavba	nízkoenergetický dům	pasivní dům	téměř nulová bu- dova
Charakteristika				
zastaralá otopná soustava, zdrojem tepla velký zdroj emisí, větrání pouhým otevřením oken, nezateplené, špatně izolující konstrukce, přetápí se	klasické vytápění pomocí plynového kotle o vysokém výkonu, větrání otevřením okna, konstrukce na úrovni požadavků normy	otopná soustava o nižším výkonu, využití alternativních zdrojů, dobře zateplená konstrukce, řízené větrání	řízené větrání s rekuperací tepla, vynikající parametry tepelné izolace, velmi těsné konstrukce	parametry na úrovni pasivního domu, velká plocha fotovoltaických panelů
spotřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² a)]				
nad 200	80 – 140	méně než 50	méně než 15	méně než 5

Úkolem vytápění je zajistit tepelnou pohodu člověka v uzavřených místnostech, především v chladném zimním období, kdy je venkovní prostředí chladnější než požadovaná teplota v místnostech a dochází tak k jejímu ochlazení. Musí být dosaženo takových poměrů, aby se člověk cítil příjemně. Rovnováha tepelného režimu člověka je nutnost udržovat stálou teplotu těla 37 °C. Je ovšem nutné přihlídnout k dalším faktorům, které mají vliv na tuto rovnováhu [1]

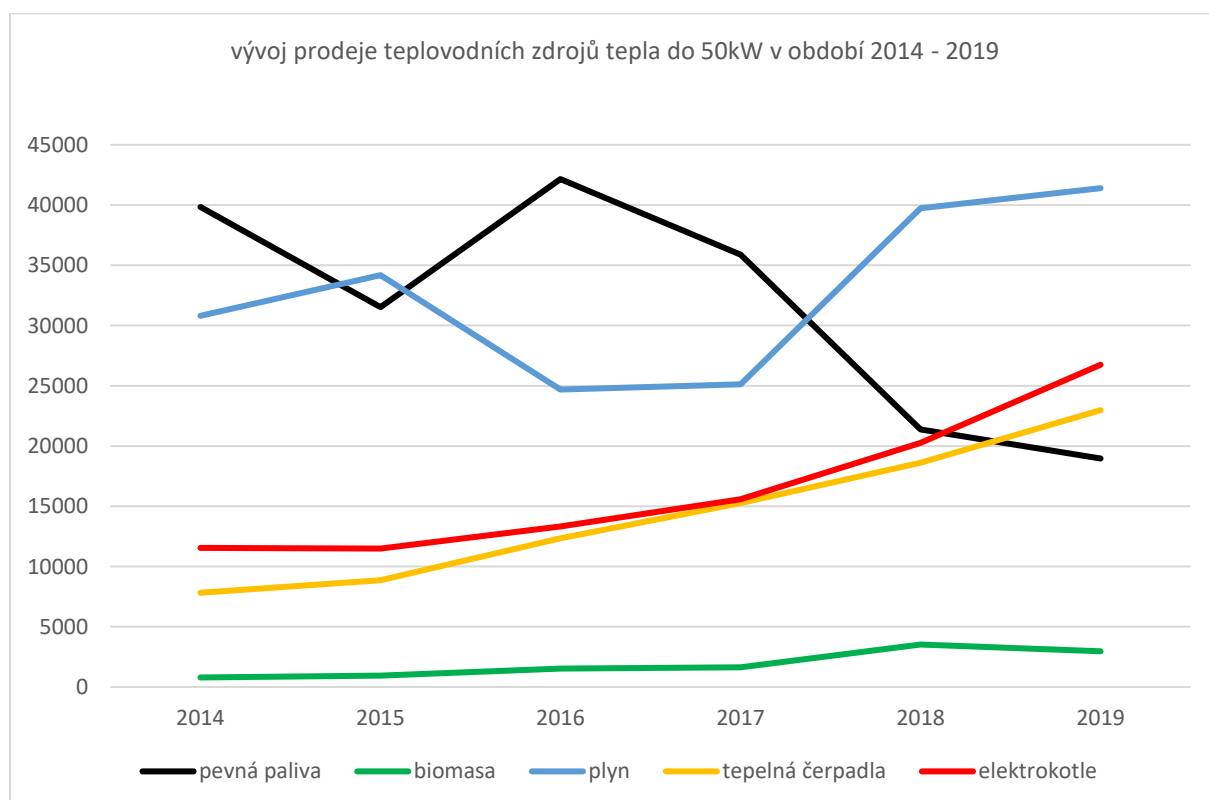
- Tepelná produkce člověka (bazální metabolismus, biologické procesy)
- Teplota vzduchu
- Teplota okolí
- Proudění vzduchu
- Vlhkost vzduchu [1]

1. Způsoby vytápění rodinných domů

České domácnosti využívají stále k vytápění rodinných domů fosilní paliva (uhlí, zemní plyn), dřeva v kotlích, kamnech, krbech, dřevěný odpad (štěpka, brikety dřevní pelety) dále pak elektrické vytápění a alternativní zdroje, jako jsou tepelná čerpadla, biomasa (pelety nebo řepka, obiloviny, odpad z papíru). Ústup od vytápění pevných paliv, především uhlí můžeme sledovat z dat tabulky 1, podle počtů prodaných kotlů do výkonu 50kW, určených pro vytápění rodinných domů. Naopak je patrný růst elektrokotlů a tepelných čerpadel. [11]

Tabulka 2 Prodej teplovodních zdrojů tepla do 50 kW [11,19]

Kotle		celkem	2019	2018	2017	2016	2015	2014
pevná paliva	uhlí, dřevo	189775	18967	21375	35894	42157	31529	39853
	biomasa	11437	2956	3526	1664	1542	956	793
Plyn	konvenční	58015	3598	4272	2828	4701	21636	20980
	kondenzační	137930	37805	35467	22309	19986	12536	9827
tepelná čerpadla	vzduch/voda	76656	21563	16977	13718	10827	7304	6267
	země/voda	8751	1333	1566	1440	1437	1463	1512
	voda/voda	523	84	81	121	84	107	46
elektrokotle		98945	26750	20256	15595	13315	11491	11538



Graf 1 Prodej teplovodních zdrojů tepla do 50kW

1.1. Vytápění tuhými palivy uhlí, dřevo

Vytápění fosilními palivy bude mít i v dohledné budoucnosti své pevné nezanedbatelné místo. Díky legislativním úpravám z minulých let a stále se zvyšujícím podvědomí veřejnosti o nutnosti ochrany životního prostředí, lze pozorovat ústup od vytápění uhlím. Jde především o snížení produkce CO_2 , SO_3 , oxidu dusíku (NO_x) nebo polévatého prachu. Na druhé straně lze pozorovat zájem o hledání takových paliv, která jsou v dané oblasti dostupná (ať už výstavby nových domků nebo rekonstrukce starších domů). Bude se jednat především o dřevo, zemní plyn nebo biomasy.[4]

Uhlí bylo před lety velmi populární zdroj k vytápění rodinných domů. Je stále druhým nejčastějším používaným druhem vytápění starších rodinných domů. Nové domy volí jiné alternativy k vytápění rodinných domů a to dřevo, dřevěné pelety, dřevěné brikety, štěpka. Nevýhodou jsou prostory ke skladování a hlavně komfort, při používání kotlů na tuhá paliva. V posledních letech lze sledovat ústup od používání kotlů na uhlí, a to podle porovnání počtu prodaných kotlů na uhlí z posledních let. Dalším faktorem, proč volit jiný zdroj k vytápění je povinnost, kterou ukládá provozovatelům kotlů česká legislativa podle evropských směrnic, zákaz provozování kotlů, které nesplňují dané podmínky k provozu takových zařízení. Dále pak z pohledu dotací atd. [4, 13]

Nezávaznější povinností bude ukončení provozu některých kotlů k září roku 2022. Po tomto roce lze předpokládat další ústup v pořízení kotlů na tuhá paliva, především na uhlí. V posledních letech byl zaznamenán rozvoj technologií spalování pevných paliv v malých teplovodních kotlích. Jde o reakci na zpřísňující se požadavky energetické efektivity a ekologii provozu. S rozvojem technologií se objevily a stále se objevují nové obchodní názvy typu zdrojů. Legislativními úpravami byly oficiální normativní definice redukovány. [13]

- Kotel prohořivací – nejstarší typ topeniště, palivo přikládáno přímo do spalovací komory, palivo položené na roštu, plamen i spaliny prohořívají vrstvou paliva nad roštem do horní části kotlového tělesa, kde bývá umístěn zásobník.
- Kotel odhořivací – při spalování neprochází spaliny přes vrstvu paliva, ale plamen je odváděn mimo prostor nad roštem do oddělené spalovací komory.
- Kotel zplyňovací – konstrukčně se jedná v podstatě o kotel odhořivací, jen je vybaven nuceným řízením (elektronickou regulací) přívodem spalovacího vzduchu ventilátorem. Konstrukce spalovací komory je provedena žárovzdorně (žárovzdušně). Teplota spalovací komory přesahuje 1 200 °C.
- Kotel automatický – se šnekovým dopravníkem, nejrozšířenější konstrukce se samočinnou dodávkou paliva, drobné palivo jako je tříděné uhlí nebo dřevní pelety.[13]

1.1.1 Specifické vlastnosti pevných paliv

Každý druh pevného paliva má své specifické vlastnosti, které je nutné respektovat při volbě vhodné technologie pro jeho spalení. Jedině tak lze zajistit maximální efektivní využití energetického potenciálu paliva s minimální tvorbou nežádoucích produktů spalování. [4]

Podstatnými specifickými vlastnostmi paliva jsou vlastnosti energetické:

- Výhřevnost – energie získaná dokonalým spálením paliva
- Obsah popelovin
- Obsah vody – může být regulováno před spalováním, vhodný sklad na dřevo – sušení má podíl na množství tepelné energie a také koncentraci spalin
- Forma – tvar, velikost, zrnitost

výhřevnost uhlí

- Hnědé uhlí 10 – 19 MJ/kg
- Černé uhlí 21 – 31 MJ/kg
- Koks 23 – 30 MJ/kg
- Brikety 17 – 19 MJ/kg

výhřevnost dřeva

- Obecně dřevo při vlhkosti 20 % 14 MJ/kg
- Jehličnaté dřevo při vlhkosti 40 % 10 – 12 MJ/kg
- Jehličnaté dřevo při vlhkosti 15 % 13 – 16 MJ/kg
- Listnaté dřevo při vlhkosti 40 % 10 – 14 MJ/kg
- Listnaté dřevo při vlhkosti 15 % 12 – 15 MJ/kg

výhřevnost biomasy

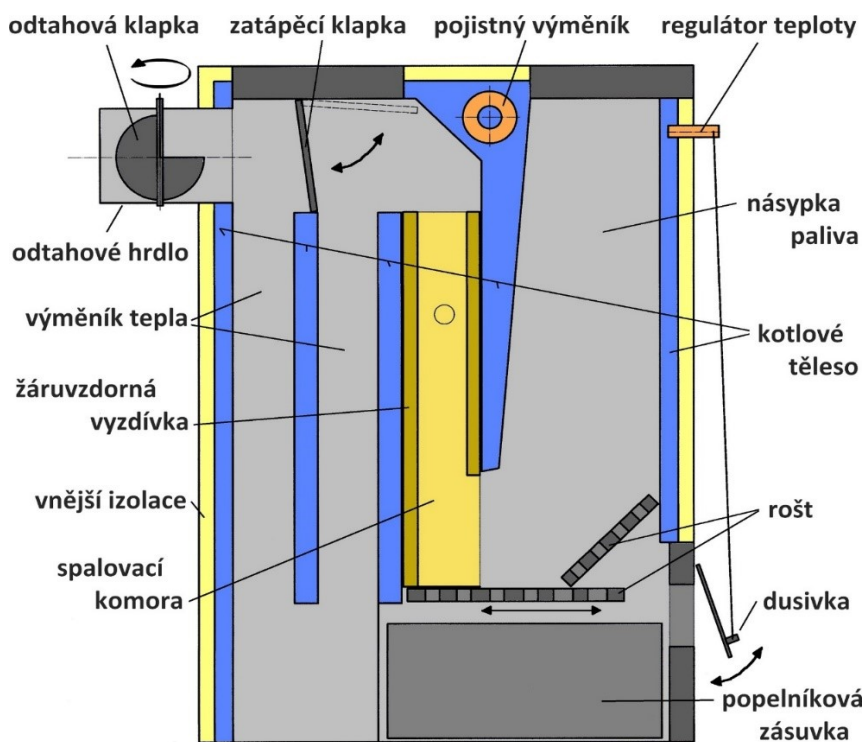
- Slaměné brikety 12 – 16 MJ/kg (dle vlhkosti slámy)
- Dřevěné brikety 17 – 19 MJ/kg
- Dřevěná štěpka 15 – 17 MJ/kg
- Dřevěné pelety 15 – 18 MJ/kg
- Slámové pelety z olejnin 18 – 19 MJ/kg
- Kukuřičné pelety 14 – 17 MJ/kg [14, 15]

Nevýhody kotlů na tuhá paliva:

- Vysoký poměr znečištění
- Omezení zásoby těžby (těžební limity, zavření dolů), zavedení ekologické daně
- Povinnosti ukládající zákon - pravidelnou kontrolou teplovodních kotlů a revizi komínů
- V neposlední řadě komfort a uskladnění

Výhody vytápění tuhými palivy jsou

- Nízká cena paliva pro topnou sezónu než u ostatních zdrojů k vytápění
- Možnost použití jak uhlí, tak dřeva v těchto kotlích.
- Dostupnost tuhých paliv



Obrázek 1 Schéma teplovodního kotle na tuhá paliva [4]

1.2. Vytápění zemním plynem

Zemní plyn je v České republice velmi rozšířený a patří k nejpoužívanějším zdrojům vytápění. V minulosti domácnosti přešly z tuhých paliv, ať už z důvodu dotačních pobídek nebo z důvodu legislativních změn v otázce ekologie, jako je znečištění ovzduší na kotle pro zemní plyn. Kotle na zemní plyn jsou snadno a komfortně ovladatelné, není nutné mít velké prostory na skladování uhlí, dřeva, biomasy. Jedná se i o ekologické vytápění, kdy při řízeném spalování zemního plynu není umožněn vznik nespálených částic, jako jsou saze, prach, ani nebezpečných dioxinů a furanů, benzo(a)pyren, které jsou problémem spalování chemicky složitějších látek, uhlí a případně i biomasy.[4]

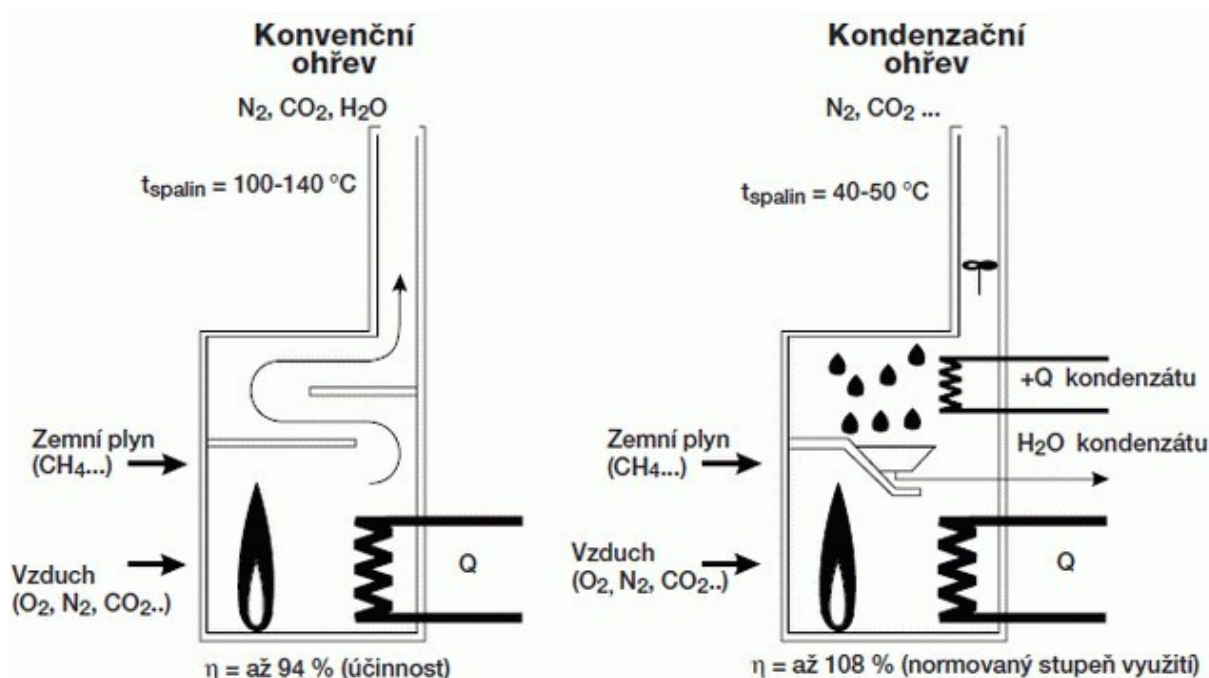
Řízené spalování zemního plynu, které je běžné v moderních plynových kotlích, téměř vylučuje výskyt emisí oxidu uhelnatého. Emise oxidů dusíku z moderních plynových kondenzačních kotlů se v řadě případů blíží meznímu rozsahu běžných měřicích přístrojů, které vyžaduje legislativa.

V České republice se nevyskytují větší zdroje zemního plynu, proto se musí zemní plyn přivádět ze zahraničí. Zásoba zemního plynu je na zemi dostatečná, jednak na pevnině, dále pak pod mořským

dnem. Distribuce zemního plynu probíhá přes vybudovanou páteřní síť plynovodů a dalším budováním podzemních zásobníků a tím je garantována dostupnost a bezpečnost dodávek. Ovšem nevýhodou do budoucna je neustále se zvyšující cena zemního plynu, ale ne všude je možné zemní plyn využívat, protože tam neexistují místa s přípojkami. [4]

Vytápění zemním plynem není vždy dostupné, proto lze vybudovat zásobníky na zkapalněné plyny, jakými jsou zemní plyn, propan, butan a ty používat. Jde však často o vyšší pořizovací náklady na takovéto zásobníky. Je třeba mít prostor pro vybudování těchto zásobníků. Další nevýhodou může být pořízení kotle např. pro propan. Výrobci však tuto možnost přestavby kotle ze zemního plynu na propan a naopak umožňují. [4]

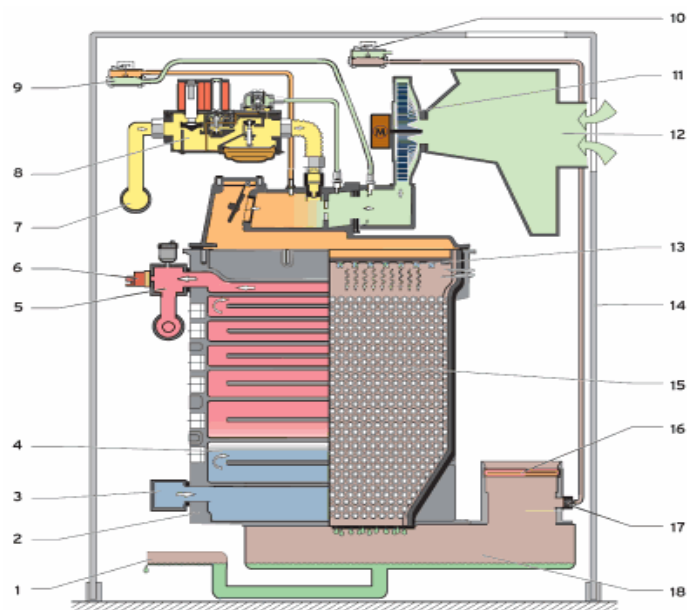
Kotle na zemní plyn můžeme rozdělit na nízkoteplotní plynové kotle a kondenzační plynové kotle, které jsou mnohem úspornější. Stále však hodně domácností používá starší typ plynových kotlů na zemní plyn, konvenční kotel, který nevyhovuje energetické účinnosti. Od roku 2015 platí v Evropě zákaz prodeje nekondenzačních kotlů, z důvodu účinnosti energetických směrnic. [4]



Obrázek 2 Princip konvenčního kotle a kondenzačního plynového kotle [12]

1.2.1. Kondenzační kotle

Kondenzační plynové kotle se liší konstrukcí, od nízkoteplotních kotlů, která se promítá do jejich vyšší účinnosti, a to až o 11 %. Kondenzační kotle promění kolem 98 % použité energie na teplo, naproti tomu klasické nízkoteplotní kotle kolem 87 %. Vyplývá to z téměř dokonalé regulace spalovacího procesu. Využívají kondenzaci spalin, které u konvenčních kotlů unikají komínem do atmosféry. Při spalování zemního plynu vzniká CO_2 a vodní pára, která se nechá zkondenzovat. Kondenzací vodní páry vznikne kondenzační teplo, čímž se zvýší jeho účinnost. Ovládání je velmi komfortní a jednoduché, spolu se snadnou údržbou. Kondenzační kotle zvyšují účinnost, tím se snižují náklady a snižují se i emise. [4,6]



Obrázek 3 Schéma stacionárního kondenzačního plynového kotle [20]

1. Odtok kondenzátu
2. Výměník
3. Rozdělovač – zpátečka
4. Průtok teplé vody
5. Rozdělovač – výstup teplé vody
6. Tlakový spínač
7. Vstup zemního plynu
8. Plynová armatura
9. Manostat tlaku vzduchu
10. Manostat spalín
11. Ventilátor
12. Přívod vzduchu
13. Hořák
14. Opláštění
15. Teplosměnná kondenzační plocha
16. Odvod spalín
17. Měřicí místo
18. Sběrač kondenzátu

1.2.2. Nízkoteplotní plynové kotle

Tento typ kotlů pracuje s relativně nízkou teplotou otopné vody v rozmezí kolem 30 – 45 °C. Jsou to nízkoemisní litinové kotle. Účelem nízkých teplot v otopné soustavě je právě udržení nízké teploty spalín. Kotle mají jednoduché ovládání a snadnou údržbu. Nízkoteplotní kotel je vybaven řídicí jednotkou, která zajišťuje automatický a plynulý provoz. [4, 6]

1.3. Vytápění elektrickou energií

Elektrická energie bývá označována jako jeden z nejpohodlnějších způsobů vytápění. Je dostupná téměř všude, avšak ne všechny přípojky dokážou přenést požadovaný příkon. Velmi snadná je regulace takového zařízení. Domácnosti mohou snadno získat výhodný nízký tarif, který platí 20 hodin denně a vztahuje se na veškeré spotřebiče. Při pořizování není potřeba zřizovat žádnou přípojku, jako je třeba u plynu. Pro elektrické vytápění při použití kotlů hovoří nízká pořizovací cena otopné soustavy, ovšem provoz může být velmi drahý, pokud rodinný dům bude provozován s velkými tepelnými ztrátami. Vhodnost použití kotlů je tedy spíše u nízkoenergetických domů. Další typy elektrického vytápění mohou mít vyšší pořizovací náklady z důvodu konstrukce jednotlivých typů elektrického vytápění. Podlahové, stropní, stěnové vytápění řadíme do skupiny velkoplošných vytápění. [4]

1.3.1. Elektrické přímotopy

Přímotopy jsou určeny spíše jako zdroj tepla k příležitostnému rychlému vytápění, jako trvalý zdroj jsou nevhodné. Pořízení elektrických přímotopů je dostupné, snadná montáž, nízké pořizovací náklady, avšak provozování takovýchto zařízení není ekonomické, při spotřebě elektrické energie.

Pro přímotopy je možné, jak pro všechny typy elektrického vytápění využít dvoutarifových sazeb od dodavatelů elektrické energie. (např D35d, D45d)

- Konvektory
- Sálavé panely
- Elektrické infrazářiče
- Elektrokotle
- Elektrické radiátory (olejové radiátory) [1, 4]

1.3.2. Elektrokotle

Teplovodní elektrokotle ohřívají médium, kterým je voda, pomocí topných těles fungujících na odporovém principu nebo pomocí elektrod v uzavřené nádobě kotle, s uzavřeným otopným okruhem. Voda hnaná pomocí čerpadla přes trubky je rozvedena do radiátorů.

Jejich využití se přesunulo hlavně do nízkoenergetických domů, protože tepelné ztráty takových objektů k bydlení jsou téměř nulové, a i nejméně výkonný vyráběný běžný kotel je pro tento dům zbytečně výkonný. Proto je při instalaci elektrokotlů potřeba tento výkon využít v akumulacích zásobnících. Elektrokotle jsou často realizovány v kombinaci s jinými druhy vytápění. Proto je využití elektrokotlů především v místech, kde není dosah připojení na zemní plyn, nebo kde nelze využít tepelných čerpadel a kotlů na tuhá paliva (vyšší pořizovací cena tepelného čerpadla proti elektrokotlům, žádný pozemek u rodinného domu v zástavbě pro vybudování tepelných čerpadel, nebo skladovací prostory pro uložení například dřeva). Elektrokotle jsou vyráběny od 1,5kW do 60 kW. [1, 4]



1. systém modulovaných topných těles
2. automatika
3. oběhové čerpadlo
4. pojistný ventil
5. tepelná ochrana topných těles
6. čidlo minimálního tlaku

Obrázek 4 Elektrický kotel [21]

1.3.3. Podlahové vytápění

Jedná se o velkoplošné sálavé vytápění, plochy podlah jsou velkým otopným systémem. Podlahové vytápění dosahuje nejlepšího komfortu tepelné pohody i při nižší teplotě vzduchu v místnosti, protože postup tepla je plynulý a rovnoměrný od podlahy ke stropu. U podlahového vytápění lze dosáhnout podílu tepleného toku sáláním asi 55 %. Podlahové vytápění můžeme dělit podle zdroje tepla.

- Teplovodní – Základní částí otopného systému, je zdroj tepla teplovodní kotel (kondenzační kotel), elektrický kotel, nebo alternativní zdroj teplené čerpadlo, rozvod trubkami)
- Elektrické – Konstrukce podlahového vytápění bývá zhotovena pomocí speciálních elektrických topných kabelů do betonové podlahy, anebo speciální topné fólie. Jejich oblíbenost spočívá ve vysoké účinnosti, rovnoměrném rozložení tepla po celé ploše, snadnou realizaci.

Podlahové vytápění je dále rozděleno podle konstrukce otopného hada na základní typy.

- Mokré – Otopný had je zalitý nejběžněji betonovou nebo anhydritovou směsí nad tepelně zvukovou izolací. Mokrá konstrukce dosahuje lepších výkonů měrného tepla nad 50 W/m^2 . Teplota otopné vody je $35\text{--}55 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Suché – Otopný had není přímo zalitý vrchní vrstvou, ale je uložen převážně do hliníkových lamel uložených do izolačního systému. Využití i pod dřevěnou podlahu. Suchá konstrukce má měrný tepelný výkon max. do 50 W/m^2 . Teplota vody v otopné soustavě oproti mokré variantě je vyšší, a to v rozmezí $40\text{--}70 \text{ }^\circ\text{C}$.

Materiál používaný na otopného hada podlahového vytápění

- Plast – PE-X síťovaný polyetylen
- Nerez
- Měď, slitiny mědi – s opláštěním, bez opláštění. [1, 4]

1.3.4. Stěnové vytápění

Je velmi podobné podlahovému vytápění, má o něco menší sálavou složku přenosu tepla než podlahové vytápění. Jejich využití je především tam, kde nelze použít podlahového vytápění nebo jiného zdroje tepla. U stěnového vytápění lze dosáhnout podílu tepleného toku sáláním asi 65 %.

Základní typy stěnového vytápění

- Nástěnné sálavé panely – mohou být i estetickým doplňkem interiéru (tvrzené sklo, ušlechtilá kamenná deska). Topným prvkem těchto přímotopných panelů bývá tkaná fólie na bázi grafitu oddělená dielektrickou deskou.
- Infrazářiče – využívají infračerveného záření. Většina umístění infrazářičů, bývá především v koupelnách jako dodatečný ohřev. Topným prvkem je infrazářovka ve tvaru tenké trubice nebo několika trubic.
- Nástěnný sálavý konvektor – veškeré teplo předává konvekcí, topidlo nasává chladný vzduch spodní částí, ten proudí kolem topného tělesa a ohřátý vystupuje samovolně nebo za pomoci ventilátoru v horní části.

- Nástěnný sálavý přímotop – konstrukčně se jedná o hybrid infračerveného topného panelu a konvektoru.
- Stěnová topná fólie – topná fólie o tloušťce 0,4 mm ohřívá sádrokartonovou desku v celé její ploše. Tato fólie nepřenáší teplo sama, ale právě prostřednictvím sádrokartonové desky. Proto se dá řadit mezi akumulční zdroj tepla. [4]

1.3.5. Stropní vytápění

Stejně jako podlahové vytápění, se jedná o velkoplošné sálavé vytápění. U stropního vytápění lze dosáhnout podílu tepelného toku sáláním asi 80 %. Konstrukčně provedeno

- Topnou folií na bázi grafitu – umístěnou v sádrokartonové desce.
- Nízkoteplotní panely pracující na infračerveném principu – desky z ocelového pozinkovaného plechu případně jinou povrchovou úpravou pro zvýšení absorpce tepla. Další možností jsou skleněné desky. [4]

1.3.6. Akumulační vytápění

Jedná se o akumulční zdroje, které už z názvu ukládají naakumulovanou energii tepla nejčastěji do zásobníku. Výroba akumulace tepla je prováděna především v době nízkého tarifu. Pro akumulční soustavu existují od dodavatelů dvoutarifové sazby cen elektřiny (např. D25d, D26d, D36d).

- Akumulační kamna, krby
- Akumulační teplovodní zásobník
- Topné podlahové kabely, topné fólie [4]

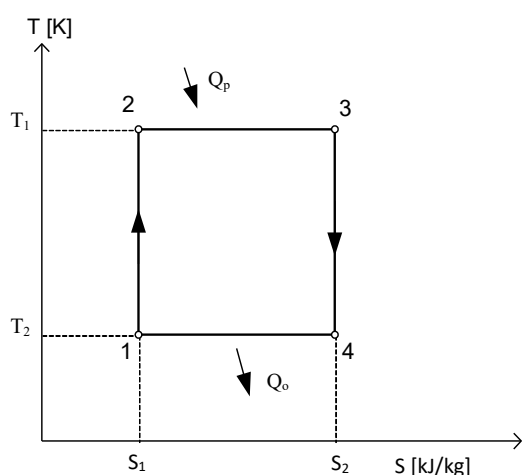
2. Tepelné čerpadlo

Základní myšlenku tohoto principu tepelného stroje vyslovil Wiliam Thomson (lord Kelvin) roku 1852, ve své druhé větě termodynamické (růst entropie, nevratnost tepelných pochodů). Principem tepelného čerpadla s vypařováním chladiva je využívání vlastností kapalin. Další vývoj ovšem nesměřoval k tepelným čerpadlům jako topným zařízením, ale k výrobě chladících zařízení. Neboť se jedná o tepelný stroj pracující v opačném směru. V roce 1824 francouzský fyzik Carnot popsal termodynamický cyklus tzv. Carnotův cyklus.

2.1. Carnotův cyklus

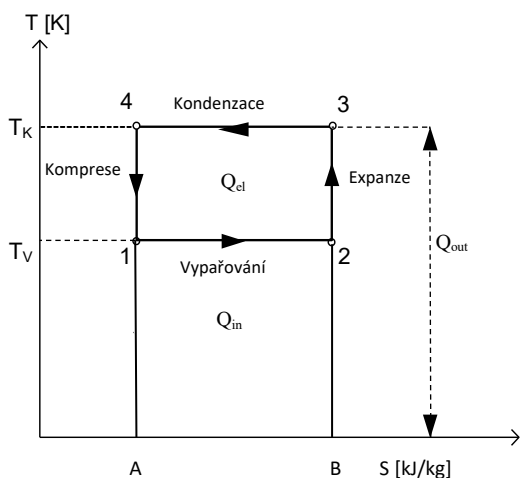
Carnotův ideální pracovní cyklus se skládá ze čtyř fází

- Izotermická expanze
- Adiabatická expanze
- Izotermické stlačení (komprese)
- Adiabatické stlačení (komprese)



T teplota [K]
 S entalpie [kJ/kg]
 Q_p teplo přijaté
 Q_o teplo odevzdané
 2-3 izotermická expanze při teplotě ohříváného tělesa T_1
 3-4 adiabatická expanze při poklesu teploty z T_1 na T_2
 4-1 izotermické stlačení při teplotě T_2 ochlazovaného tělesa
 1-2 adiabatické stlačení mezi teplotami T_2 a T_1

Obrázek 5 Carnotův ideální pracovní cyklus (pravotočivý)



T teplota [K]
 S entalpie [kJ/kg]
 Q_{el} energie získaná ze sítě pro kompresi
 Q_{in} energie získaná z nízkopotenciálního zdroje tepla
 Q_{out} celková energie dodaná tč. do topného systému
 1-2 izotermické vypařování při stálé teplotě
 2-3 adiabatická komprese při stálém tlaku
 3-4 izotermická kondenzace při stálé teplotě
 4-1 adiabatické expanze při stálém tlaku

Obrázek 6 Pracovní cyklus tepelného čerpadla dle Carnotova cyklu (levotočivý)

Carnotův cyklus by byl vratný, pokud bychom dokázali splnit několik podmínek.

- Pracovní médium musí být ve stále termodynamické rovnováze s okolím (reálné vlastnosti chladiv)
- Při sdílení tepla chladící a ohřívací lázně se teplota lázní nesmí měnit
- V cyklu nesmí docházet k mechanickým nebo tepelným ztrátám

Z výše uvedených podmínek vyplývá, že se u pracovního cyklu tepelného čerpadla pouze můžeme teoreticky přiblížit k Carnotovu cyklu, ale v reálném zařízení nelze tento cyklus uskutečnit. Lze jej použít jako kritérium pro hodnocení skutečných cyklů.

2.2. Rankinův cyklus

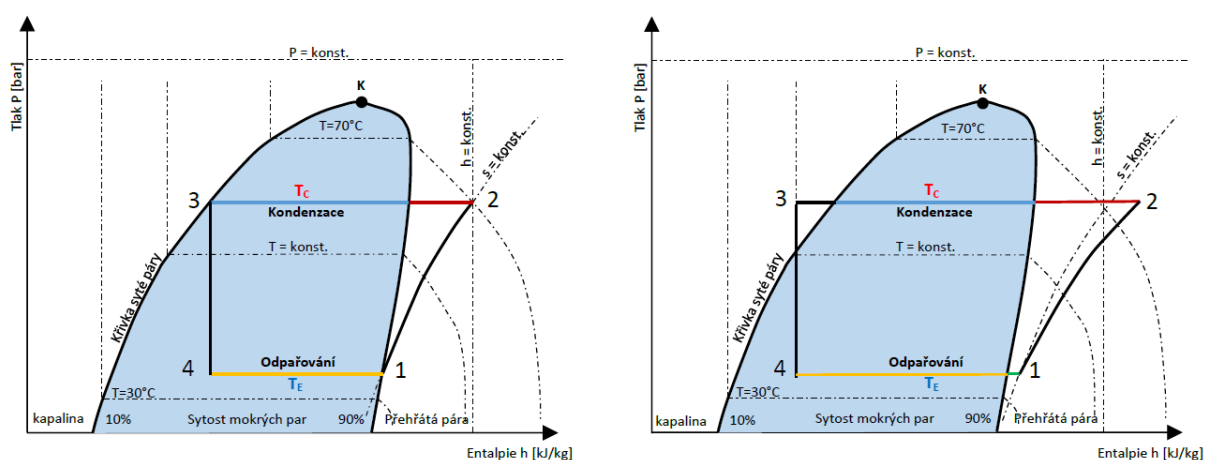
Reálný pracovní oběh chladicího zařízení vyjadřujeme zpravidla pomocí $P - h$ diagramu, který vyjadřuje závislost tlaku (p) na entalpii (h), na obrázku 6 lze vidět porovnání Rankinova cyklu a skutečného cyklu.

4 – 1 izobarické vypařování na mez syté páry

1 – 2 izoentropická komprese syté páry na přehřátou páru

2 – 3 izobarické ochlazení přehřátých par na mez sytosti a následná kondenzace na mez syté kapaliny

3 – 4 izotermické škrcení na mokrou páru, snížením tlaku škrcením, nekoná se práce.



Obrázek 7 Ideální Rankinův oběh (vlevo) a reálný oběh (vpravo)

Rankinův cyklus z obrázku č. 7 začíná nasátím par v bodě 1., kompresor stlačuje páru a kompresí se páry ohřívají do bodu 2. Vpravo na obrázku č. 7 je možné si všimnout odchylky v křivce konstantní entropie ($s = \text{konst.}$), kterou způsobují chladiva při stlačování v reálném cyklu, dále tepelné ztráty přestupem tepla z chladiva do pístu kompresoru, ale naopak zde dochází i k ziskům odpadního tepla z pohonu kompresoru.

Přehřáté páry vstupují do kondenzátoru, kde se přes stěny tepelného výměníku ochlazují tím, že dochází k přestupu tepla do otopného systému, a tak se kondenzují na kapalinu při kondenzační teplotě T_c . Rozdíl mezi ideálním a reálným průběhem je v podchlazení kapalného chladiva v bodě 3.

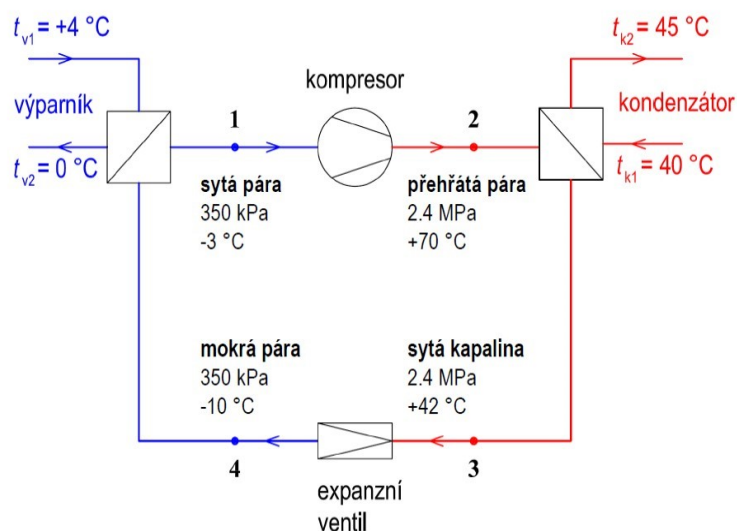
Podchlazení chladiva je účelné pro správnou funkci expanzního ventilu, a tím je zajištěn přítok kapalného paliva.

Expanzním ventilem, je tlak chladiva prudce snížen viz bod 4. Dochází k varu chladiva a prudkému vypařování při teplotě T_E . Výparné teplo je přiváděno přes teplosměnnou plochu výparníku z chlazeného prostoru. Expanzní ventil zajišťuje přehřátí par chladiva v bodě 1.

U reálné komprese dochází k přehřívání par chladiva, k podchlazení kapalného chladiva, a komprese par chladiva není bezetrátová. [16, 27]

2.3. Cyklus tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je zařízení pro vytápění rodinných domů, jako alternativní zdroj energie. Zdrojem energie může být energie obsažená ve vodě, ve vzduchu, v půdě a potom lze mluvit o získání energie z vnějšího prostředí, získáním tepla z nízpotenciálního zdroje, kterou převádí za pomoci teplonosné látky na vyšší teplotní hladinu. Tepelné čerpadlo je cyklicky pracující tepelný stroj.



Obrázek 8 Princip tepelného čerpadla [1]

V uzavřeném okruhu za pomoci přírodních fyzikálních zákonů dochází ke změně skupenství, z kapalného na plynné a naopak, dále pak využití termodynamického zákona. Chladivu, kterému přes expanzní ventil snížíme tlak, přispěje ke snížení teploty média pod teplotu zdroje energie, a to se vypaří. Během vypařování média odebírá teplo z okolí a akumuluje ho v sobě. Tato naakumulovaná energie, která je v plynném stavu média kdy expanzní ventil musí zajistit nezbytné přehřátí paliva, kompresor musí nasávat páry bez podílu kapaliny, se za pomoci kompresoru stlačí na vysoký tlak, zvýší se teplota média a takto vstoupí do kondenzátoru. V kondenzátoru dojde k výměně tepla do topného média. Chladivo ve formě páry se změní zpět na kapalinu. Děje se to za pomoci malého množství elektrické energie, která je potřeba k pohonu kompresoru. [1, 4]

Tepelné čerpadlo lze použít i opačným způsobem k chlazení rodinného domu v případě vysokých teplot, protože se na jedné straně tepelného čerpadla snižuje teplota teplonosné látky. Takto získaná energie je provozována za minimální provozní náklady. [1, 4, 8]

2.4. Kritéria pro provoz tepelných čerpadel

Pro optimální volbu tepelného čerpadla musíme znát tepelné ztráty a roční spotřebu tepla objektu. Tepelné ztráty budou vycházet z klimatických podmínek lokality myšlené nemovitosti. U novostaveb se vychází z projektové dokumentace, při rekonstrukci starších rodinných domů, je potřeba zpracovat projekt, který určí celkové tepelné ztráty. Celkové tepelné ztráty objektu jsou potřebné k určení výkonu tepelného čerpadla. Z výkonu tepelného čerpadla určíme základní parametr, a to účinnost tepelného čerpadla COP, SCOP. Pro provoz tepelného čerpadla je důležitým parametrem stanovení bodu bivalence. V neposlední řadě musíme vhodně zvolit dle dostupnosti nízkopotenciálního zdroje, od kterého se bude odvíjet i případná náročnost, optimální provozování a především cena. [2, 4]

2.4.1. Topný faktor tepelných čerpadel

Topný faktor je základní parametr, který nám ukazuje teoretickou účinnost tepelného čerpadla. Jde o bezrozměrové číslo, které určuje poměr mezi vyrobeným teplem a spotřebovanou elektrickou energií, při ustálených laboratorních podmínkách. Topný faktor tepelného čerpadla závisí především na teplotě zdroje tepla a tím je, vzduch, země, voda, a na teplotě, při které je teplo vyrobeno a spotřebováno. Čím vyšší topný faktor, tím je lepší tepelné čerpadlo. Nejčastěji se udává hodnota 2,5 - 5. Za určitých podmínek může dosáhnout hodnoty 7 a neklesne pod hodnotu 1. Pokud se chceme orientovat, a snadno si jednotlivé výrobky porovnat v globálním měřítku je potřeba znát celou řadu parametrů (srovnávací kritéria). [1, 2, 4]

- COP – topný faktor vychází z ČSN EN 14511

$$\text{COP} = \frac{P_H}{P_E} [-]$$

P_H tepelný výkon, teplo předané jednotkou do teplonosné látky [kW]

P_E průměrný elektrický příkon jednotky [kW]

příkon kompresoru, příkon pro odtávání, příkon pro všechny řídicí, regulační a bezpečnostní zařízení jednotky, poměr příkonu rozváděcích zařízení – ventilátory, čerpadla zajišťující průtok média uvnitř jednotky.

- SCOP – sezonní topný faktor

Uvádí hodnotu na základě testování tepelného čerpadla ve zkušebnách. Při zkouškách jsou zohledněna klimatická data. Vychází se z dané teploty, která panuje v dané lokalitě hodinově za celý rok. Slouží k výpočtu vyrobené a spotřebované energie, hodnoty se sčítají. Hodnoty SCOP mohou dosáhnout reálných hodnot, pouze za určitých podmínek. Česká republika je zařazena do mírného klimatického pásma. V tomto pásmu se počítá s klimatickými daty, kdy se v zimě počítá s teplotou, která neklesne pod -10 °C. Ovšem v České republice jsou teploty kolem -15 °C, na horách -21 °C. Další podmínkou je teplota topného systému. Tu SCOP udává nejčastěji 35 °C. Tato teplota je maximální teplota, kterou má topný systém při teplotě -10 °C. Teplota topného systému kolem 35 °C je dosažitelná u pasivních domů. V jiných případech se počítá s teplotou topné soustavy kolem 40 °C pro podlahové vytápění. Pokud bychom uvažovali radiátorovou teplotu kolem 55 °C, dojde ke snížení SCOP. [2, 4]

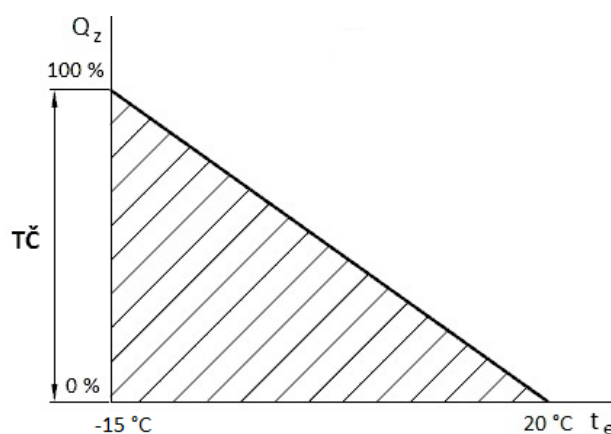
2.4.2. Provozní režimy tepelných čerpadel

Provozování tepelných čerpadel můžeme rozdělit na několik režimů, podle kritérií, použitých pro dimenzování tepelného čerpadla. [23]

2.4.2.1. Monovalentní provoz

Monovalentní provoz je takový, kdy tepelné čerpadlo je jediným hlavním zdrojem sloužící k vytápění daného objektu. Není potřeba žádných dalších tepelných zdrojů. Pro dimenzování tepelného čerpadla v monovalentním provozu navrhujeme maximální tepelnou ztrátu objektu při venkovní výpočtové teplotě, a musíme přičíst další faktory

- Výkon potřebný pro odtávání námrazy
- Tepelné ztráty do okolí
- Výkonový přírůstek pro pokrytí doby, kdy čerpadlo nepracuje (vysoký tarif elektrické energie)



Obrázek 9 Monovalentní provoz tepelného čerpadla

Většina tepelných čerpadel se na monovalentní provoz nedimenzuje, z důvodu konstrukce, kdy by pořízení takového zařízení bylo drahé, a ne vždy konstrukčně proveditelné, z důvodu potenciálu zdroje tepla. Monovalentní provoz má vysoké požadavky na zdroj nízkopotenciálního tepla-dostatečné vysoké vstupní teploty. Další nevýhodou takového provozu je v případě poruchy výpadek tepelného čerpadla jako zdroje k vytápění. [17, 23]

2.4.2.2. Monoenergetický provoz

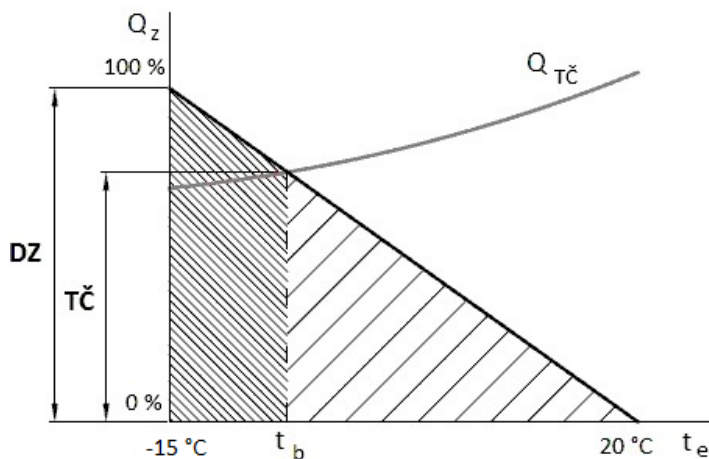
Provoz je zajištěn tepelným čerpadlem s elektrickým teplovodním kotlem, který je součástí tepelného čerpadla. V případě nízkých teplot, kdy tepelné čerpadlo nedokáže pokrýt tepelné ztráty, pokrývá elektrický kotel právě tyto ztráty. [23]

2.4.2.3. Bod bivalence

Tepelné čerpadlo při určité venkovní teplotě dosáhne výkonu, který se rovná tepelné ztrátě objektu. Tato teplota se nazývá bod bivalence. Dalším klesáním okolní teploty se zvyšuje tepelná ztráta takového objektu a je potřeba použití záložního zdroje. [23]

2.4.2.4. Alternativně - bivalentní provoz

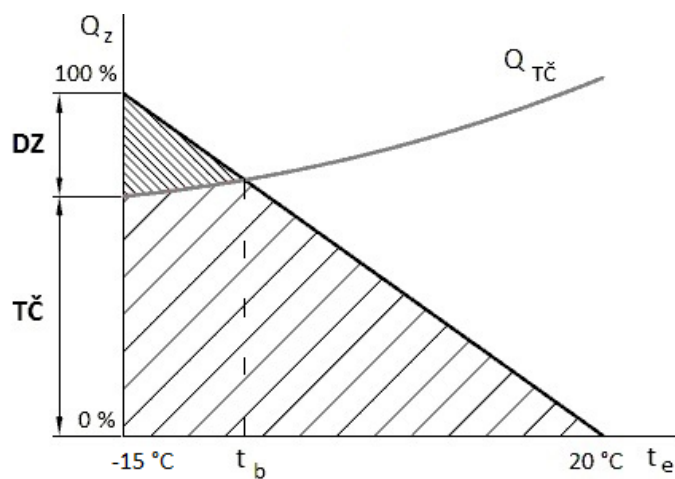
Tepelné čerpadlo v tomto režimu pracuje jen do bodu bivalence, pak je zcela nahrazeno zdrojem tepla. Záložní zdroj tepla pak pokrývá celou potřebu tepla v nejnižších teplotách okolí. [23]



Obrázek 10 Alternativně bivalentní provoz tepelného čerpadla

2.4.2.5. Paralelně - bivalentní provoz

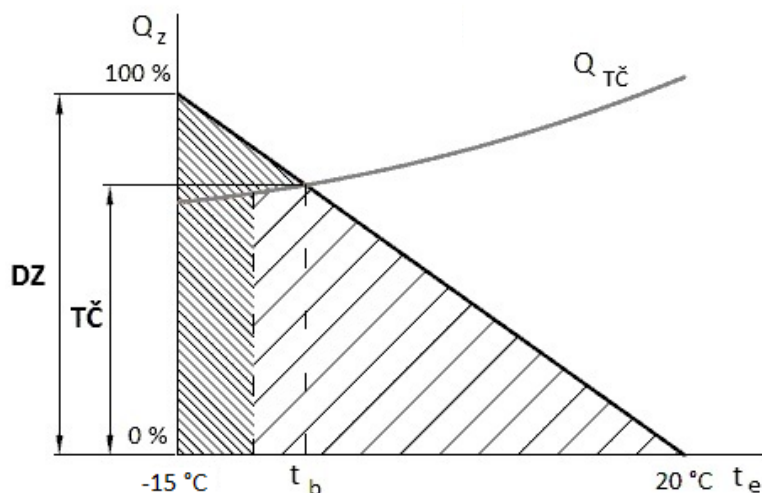
Tepelné čerpadlo v tomto režimu pracuje po celou topnou sezónu. V okamžiku, kdy tepelné čerpadlo nedokáže pokrýt tepelné ztráty, zapojí se druhý zdroj tepla. Nastavení sepnutí a výkonu reguluje řídicí jednotka tepelného čerpadla. [23]



Obrázek 11 Paralelně bivalentní provoz tepelného čerpadla

2.4.2.6. Částečně paralelně - bivalentní provoz

Tepelné čerpadlo v tomto režimu pracuje do bodu, kdy se připojí bivalentní zdroj. Oba zdroje tepla fungují současně do doby, kdy je tepelné čerpadlo odpojeno v případě nejnižších teplot. Není už schopno dodávat dostatečné teplo. [23]



Obrázek 12 Částečně paralelně bivalentní provoz tepelného čerpadla [23]

2.5. Základní části tepelného čerpadla

Tepelné čerpadla se skládají z několika důležitých základních částí.

- kompresor
- expanzní ventil
- výparník
- kondenzátor
- další zařízení – filtry, odlučovače, dehydrátory, ukazatel vlhkosti

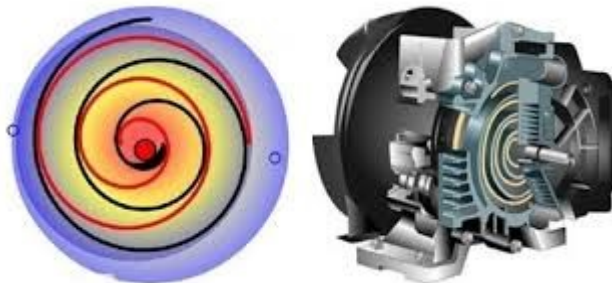
2.5.1. Kompresor

Nasává předehřáté páry chladiva z výparníku a dále je stlačuje na kondenzační tlak. Dochází tak ke zvýšení tlaku a zvýšení teploty chladiva. Tím dochází k přečerpávání energie z nižší teplotní hladiny na vyšší teplotní hladinu. Tlak v sací části se nejčastěji pohybuje 0,1 – 0,5 MPa při teplotách -20 °C až 10 °C na výtlačku 0,2 – 2,5 MPa, 60 °C až 100 °C. Důležitá součást tepelného čerpadla.

V současnosti nejpoužívanější kompresory typu

- Rotační spirálový kompresor (scroll) – má dlouhou životnost pohybující se kolem 20 let. Jedna spirála pohybující se po dráze v druhé spirále, která je upevněna pevně v těle kompresoru. Pohybující se spirála nemá rotační pohyb, tím dochází mezi dvěma spirálami k vytvoření plynových kapslí, které se přemísťují. Směrem dovnitř se plynové

kapsle vzniklé tímto pohybem zmenšují a tím se zvyšuje tlak i teplota. Nevýhoda může být v provozování, kdy je nutnost držení konstantních otáček z důvodu mazání, které by při nízkých otáčkách způsobovalo předčasné opotřebení, a tím se zkrátila významně životnost kompresoru scroll.



Obrázek 13 Kompresor scroll

- Dvojitý rotační kompresor – je tvořen dvěma pevnými komorami. V každé z nich se otáčí excentrická vačka, která stlačuje chladivo ve spolupráci pohyblivou komorovou přepážkou. Obě vačky jsou uloženy v protilehlých polohách na jedné společné hřídeli tak, aby bylo zajištěno vyrovnění namáhání hřídele a ložisek rotoru. Výhodou jsou malé vibrace, malé mechanické namáhání, je velmi tichý, otáčky lze řídit plynule frekvenčním měničem. [16]



Obrázek 14 Dvojitý rotační kompresor

- Pístový – nejstarší typ kompresoru. Páry chladiva jsou nasávány přes sací ventil, páry se stlačí ve válci, přehřáté páry jsou vytlačeny přes výtlačný ventil. Jeho výkon je od několika W až po stovky W, použití je především u ledniček a mrazáků
- Šroubové – využití hlavně pro průmyslové aplikace, výhodou je vysoký výkon, nevýhodou je vysoká pořizovací cena.

Provedení kompresoru:

- Oddělené – motor je od kompresoru oddělen převodem
- Hermetické – motor a kompresor jsou na společné hřídeli v hermeticky uzavřené tlakové nádobě. Výhodou tohoto systému je, že nedochází k úniku chladiva. [4, 16]

2.5.2. Expanzní ventil

Jeho úkolem je regulovat tlak mezi vysokotlakou a nízkotlakou stranou chladicího okruhu. Ventil reguluje tlak průtoku paliva a současně zajišťuje, že do kompresoru vstupuje chladivo zcela vypařené. Ventilem proudí tolik chladiva, kolik ho může kompresor stlačit.

- Tepelný expanzní ventil TEV
- Elektronický expanzní ventil EEV zvyšuje topný faktor tepelného čerpadla lepším využitím výparníku při odpařování chladiva než u TEV [4]

2.5.3. Výparník

Výparník je výměník tepla. Odebírá tepelnou energii nízkopotencionálnímu zdroji tepla. Chladivo se vypařuje při nízkém tlaku a při velmi nízké teplotě a odebírá tak teplo přes stěny výparníku. Teplo je přivedeno z vnějšího zdroje, kterým je vzduch, země, voda. [4]

2.5.4. Kondenzátor

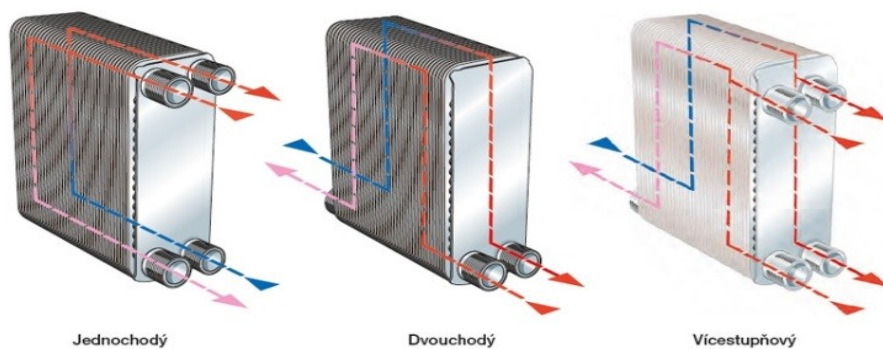
Kondenzátor je výměník tepla. Dochází zde k výměně tepla přes stěnu do topného média, zpravidla vody nebo vzduchu. Stlačená pára se mění zpět na kapalinu. Nejčastěji se používají deskové, lamelové, trubkové, vyrobené z mědi, nerez, hliníku. [4]

2.5.5. Výměník

Výměníky výparníku a kondenzátoru, bývají zpravidla konstrukčně realizovány jako nízkotlaké, střednětlaké u běžně používaných chladiv. Při použití ekologických chladiv např. propan nebo CO₂, bývají tyto pracovní tlaky kolem 10 MPa.

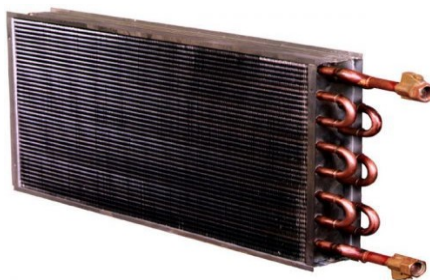
U výparníku kapalné chladivo vstupuje do spodního hrdla a vypařuje se z horního hrdla. V kondenzátoru je tomu přesně naopak, vstup odpařeného chladiva vstupuje do horního hrdla a ve spodní části vystupuje jako kapalina. Musí odolávat korozi a tlaku. Konstrukčně provedeny jako

- Deskové – z mědi, letované mědi nebo svařované, které musí odolávat vyšším tlakům, pro provoz určitých typů chladiv, které vyžadují vyšší tlak pro svůj provoz. [4, 25, 26]



Obrázek 15 Deskový letovaný výměník

- Lamelový – složený z měděných trubek, proložený hliníkovými lamelami, aby byla zvětšená plocha pro tepelný přenos. U lamelových výměníků se používají ventilátory.



Obrázek 16 Lamelový letovaný výměník

- Trubkové – výměníky tvořeny trubkami kruhového profilu. Tvoří ji trubka většího průměru, ve které jsou umístěny další slabší trubky ve svazku. Odolné vůči vysokým a rozdílným tlakům u chladiv. [4, 25, 26]

2.5.6 Chladivo

Pro přenos energie v tepelném čerpadle se využívá teponosné médium, kdy chladivo koluje v hermeticky uzavřeném okruhu. V minulosti byla použita chladiva, která byla časem zakázána, z důvodu ochrany životního prostředí, týkající se fluorovaných skleníkových plynů. Současná doba klade podmínky na zlepšování účinnosti, které dosáhnou na kondenzátoru co nejvyšší výstupní teploty a zároveň nejnižší vypařovací teploty. Velký důraz posledních let je kladen na životní prostředí, především na ozónovou vrstvu a na zdravotní požadavky. [4, 24]

Chladiva můžeme rozdělit podle původu vzniku

- Přírodní látky – voda (označení R718), vzduch (R729), amoniak-čpavek NH_3 (R717) dnes nepoužívaný pro jeho jedovatost, metylchlorid

- Přírodní uhlovodíky – Ethan C_2H_6 (R170), Propan C_3H_8 (R290), Isobutan (R600a), Propylén C_3H_6 (R1270), oxid uhličitý CO_2 (R744)
- Halogenové uhlovodíky CFC – R11 ($CFCl_3$), R12 (CF_2Cl_2) plně freonová chladiva. Dnes již nepoužívané a zakázané
- Částečně halogenované uhlovodíky HCFC – R22 (CHF_2Cl) R123, R124, R142
- Fluorované uhlovodíky a jejich směsi HFC – R23, R32, R125, R134a, R143a, R407c, R404a, R410a, R417a, R507 bez chlóru a nenarušující ozónovou vrstvu

V posledních letech se klade důraz na ekologickou cestu a zkouší se aplikovat přírodní chladiva např. voda, CO_2 , propan, butan. Zatím se spíše jedná o ojedinělé záležitosti. Musíme přihlédnout k vlastnostem jednotlivých chladiv, jakými jsou např. provozní tlaky systému, které jsou dány velikostí kompresoru. Vliv je také v topném faktoru, nebo v závislosti na vypařovací teplotě chladiva.

Pro dopady chladiva na ekologii se používají zkratky ukazatelů

- GWP - (global warming potencial) ukazatel potencionálního globálního oteplování, jak může daná látka zvýšit teplotu klimatu v poměru oxidu uhličitého
- CO_{2-eq} – vyjadřuje kolik kilogramu CO_2 může mít případný dopad v ovzduší, je to násobek GWP a náplně chladiva vyjádřenou v kilogramech

V současnosti nejpoužívanější chladiva jsou:

- R407C jedná se o směs chladiva s označením R32, R125, R134a jde o stabilní látku, nejběžněji využívanou v klimatizacích, nahradila dnes již zakázané chladivo R22
- R410A – směs látek R125, R32, oproti jiným chladivům má vyšší objemovou chladivost a energickou efektivnost, předpokládá se však její postupný útlum kvůli emisím CO_2
- R32 jedná se o nejpoužívanější chladivo, má až o 60 % vyšší výkon než chladivo R410A, je lépe recyklovatelné a nedosahuje vysokých emisí
- R290 (propan) přírodní chladivo, objevuje se nově jako chladivo pro tepelná čerpadla, zatím však sporadicky, vyžaduje hermeticky těsný okruh. [4, 24]

3. Typy tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla můžeme rozdělit na několik typů, podle druhu z odebíraného zdroje tepla. Především vzduch, země, voda.

3.1. Tepelné čerpadlo vzduch/voda

Tepelné čerpadlo odebírá energii přímo z venkovního vzduchu a získané teplo využívá pro ohřev vody v topném systému nebo zásobníku teplé vody.

Tepelné čerpadlo vzduch/voda musíme zvolit dle podmínek, které v průběhu roku mohou nastat, hlavní je teplota venkovního vzduchu. Vycházíme-li z průběhu roční teploty, která se pohybuje v České republice v rozmezí od $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Musíme zvolit takové tepelné čerpadlo, které bude schopno pracovat v těchto podmínkách. Při teplotě pod $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ dochází ke snížení výkonu tepelného čerpadla, proto je nutné mít doplňkový zdroj, který už většinou bývá součástí takového systému. Nejčastěji se jedná o elektrokotel.

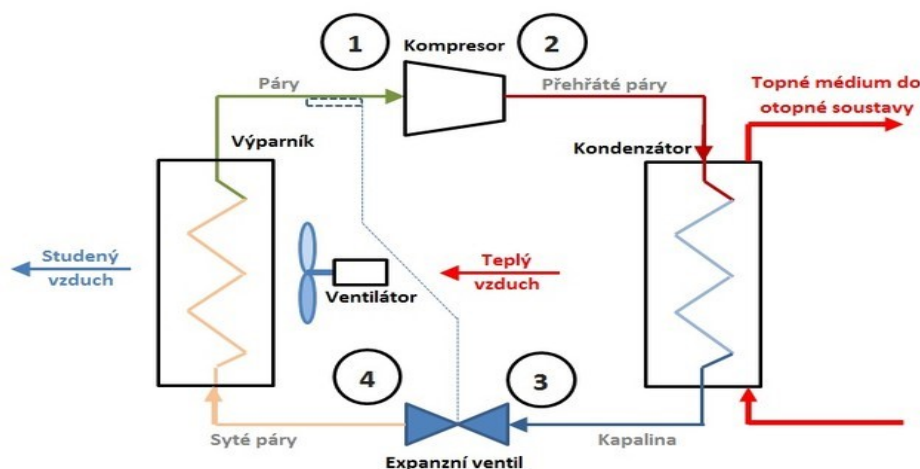
Konstrukce tepelného čerpadla vzduch/voda je vzhledem k jednoduchosti instalace, vývojem zlepšujících se parametrů v účinnosti tepelných čerpadel a sníženými se tepelnými ztrátami prosazován jako nejvhodnější typ tepelných čerpadel ve výstavbě nových domů. Je nejčastěji instalovaným tepelným čerpadlem v České republice a střední Evropě.

Výhody tepelného čerpadla vzduch/voda

- Jednoduchost instalace, není potřeba velkých pozemků
- Nízké provozní náklady, oproti jiným zdrojům vytápění, jako jsou plynové kotle nebo elektrické kotle
- Vhodné pro novostavby

Nevýhody tepelného čerpadla vzduch/voda

- Při poklesu okolní teploty klesá COP faktor, i výkon, je nevhodné do oblastí s nízkými teplotami
- Hlučnost ventilátoru u starších a levnějších typů
- Umístění jednotky pro potřebu odtávání a odvod kondenzátu
- Volba dostatečné výšky proti pokrytí sněhem [4, 5, 7]



Obrázek 17 Princip tepelného čerpadla vzduch/voda [4]

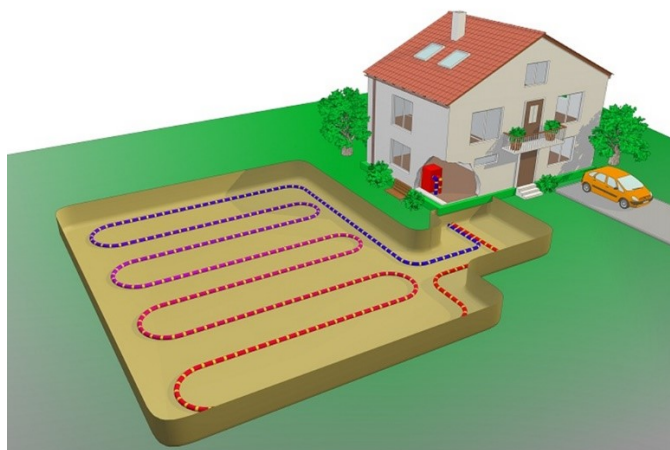
3.2. Tepelné čerpadlo země/voda

Tepelné čerpadlo země/voda je zpravidla realizováno pomocí plošného kolektoru nebo svislého vrtu (pokud je nedostačující, tak pomocí několika vrtů), nebo pomocí horizontálních výměníků – plošných kolektorů.

3.2.1. Plošný kolektor

Plošný kolektor je tepelné čerpadlo odebírající teplo z plochy pozemků. Pod povrchem, v rozmezí 1,2-2 m zpravidla v hloubce 1,5m, na velké ploše pozemku je uloženo plastové potrubí naplněné teplotonosným médiem, které přenáší teplo mezi zemí a tepelným čerpadlem. Je uloženo v relativně malé hloubce a využívá teplo z velké plochy půdy. Potrubí bývá zpravidla z plastu, odolné proti mechanickým vlivům, jako jsou kameny v půdě a musí odolávat dlouhodobému tlaku na ploše povrchu. Potrubí je rozděleno na několik paralelních větví. Jednotlivé větve jsou vyvedeny do šachtic, kde je umístěn sběrač, rozdělovač, sloužící ke sběru a distribuci do jednotlivých větví. Použití horizontálních výměníků je především u tepelných čerpadel s menším výkonem u rodinných domů s velkým přilehlým pozemkem.

Na 1 kW tepelné ztráty objektu v mírném klimatu je potřeba 35-40 m² pozemku [2, 4]

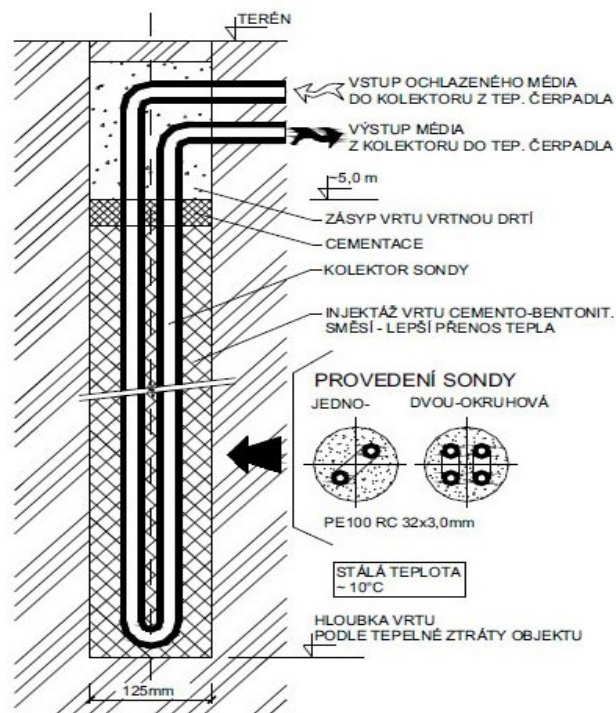


Obrázek 18 Tepelné čerpadlo země/voda plošný kolektor [4]

3.2.2. Vrt

Vrt určený pro tepelné čerpadlo odebírající teplo z vrtu, nebo z hloubky pod povrchem země. Ve vrtu je zapuštěna plastová sonda (zpravidla dvě plastové potrubí ve tvaru písmene U) naplněná teplotonosným médiem, která přenáší teplo mezi zemí a tepelným čerpadlem.

Podle velikosti vytápěného domu se provádí jeden nebo více vrtů o hloubce 50 až 250 m. Pro zateplený starší rodinný dům je dostačující jeden vrt v hloubce od 80 m do 180 m. Standardní hloubka vrtu v ČR se pohybuje v rozmezí 100-150 m. [17] Vrt musí být schopen zajistit požadovanou energii, pokud ne, musí být provedeno více vrtů pro jeden společný systém. Na 1 kW výkon tepelného čerpadla je potřeba 12-18 m hloubky vrtu. Vždy záleží na geologickém podloží, kde bude vrt.



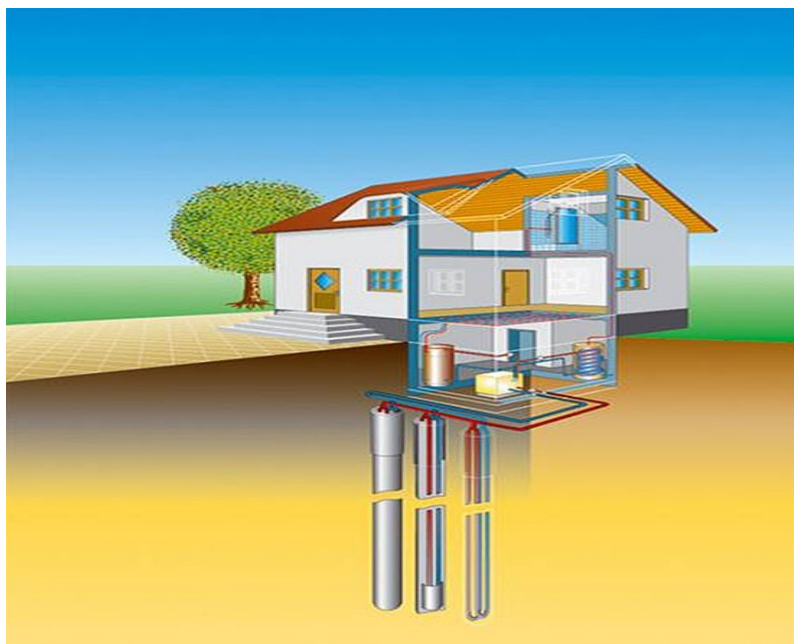
Obrázek 19 Schéma vrtu pro tepelné čerpadlo země/voda [22]

Výhody tepelného čerpadla země/voda

- U vrtu je to nezávislost na vnějších klimatických podmínkách po celý rok, stálé teploty umožňují vyšší COP faktor
- Úspora až 30 % elektrické energie při porovnání s tepelným čerpadlem vzduch/voda
- Dlouhá životnost tepelného čerpadla i vrtu
- Vrt může být součástí půdorysu novostavby
- Bezhluchnost a minimální údržba
- Využití volného chlazení tzv. Free cooling, kdy díky nízkým teplotám dokáží výměníky odvézt veškeré teplo a nemusí běžet kompresory. [4]

Nevýhody tepelného čerpadla země/voda

- Vyšší náklady na realizaci, z důvodu rozsáhlých zemních prací a získání stavebního povolení (vyjádření báňského úřadu)
- Plošný kolektor potřebuje velkou plochu k realizaci, je tedy nutné mít k dispozici pozemek u rodinného domu
- Pro vrt nebo několik vrtů je potřeba samotný projekt, který musí být velmi kvalitně odborně zpracován. [4]



Obrázek 20 Tepelné čerpadlo země/voda vrt [22]

3.3. Tepelné čerpadlo voda/voda

Tepelné čerpadlo voda/voda má jednu z nejvyšších účinností. Tepelnou energii získává z vodních zdrojů. Vodním zdrojem v tomto případě může být vodní nádrž, rybník. Nejčastěji je využívání spodních vod ze studny. Studny bývají dvě – jedna zdrojová a druhá vsakovací. Voda je v otevřeném okruhu čerpána ze zdrojové studny přímo do výměníku a po ochlazení vrácena zpět do vsakovací studny. Teplota vody ze studny má výhodu v celoroční stabilitě kolem 10 °C. Lze narazit i na geotermální vodu, kdy je teplota vody nadprůměrně vysoká.

Výhody tepelného čerpadla voda/voda

- Stabilní podmínky pro provoz
- Nejvyšší COP faktor z tepelných čerpadel
- Monovalentní provoz

Nevýhody tepelného čerpadla voda/voda

- Potřeba vodního zdroje v dostatečném průtoku vody se stálou teplotou
- Je nutná vhodná voda pro primární okruh, dostatečná čistota vody bez bláta, kamení a správné chemické složení vody
- Náročná údržba
- Nižší životnost komponent (filtry, čerpadla, výměníky)

3.4. Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch

Tepelné čerpadlo odebírá teplo z venkovního vzduchu a ohřívá vzduch uvnitř budovy. Systém vzduch/vzduch ohřívá vnitřní vzduch přímo, bez prostřednictví topného systému a dosahuje díky tomu vyššího topného faktoru než ostatní tepelná čerpadla.

Výhody tepelného čerpadla vzduch/vzduch

- Nejnižší pořizovací cena z tepelných čerpadel
- Rychlá a snadná instalace

Nevýhody tepelného čerpadla vzduch/vzduch

- Hlučnost vnitřní jednotky
- Omezení počtu vnitřních jednotek připojitelných k venkovní jednotce
- Tímto typem nelze ohřívat teplou vodu

4. Kritéria pro volbu optimálního tepelného čerpadla

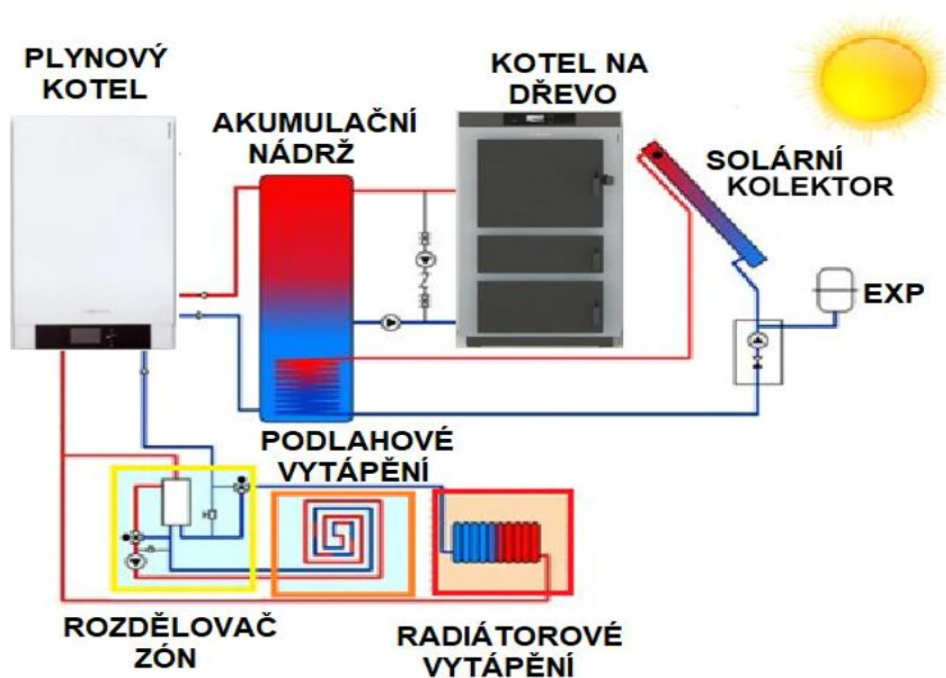
Pro správnou volbu typu tepelného čerpadla musíme znát několik kritérií, které budeme posuzovat. Posoudit musíme

- Velikost rodinného domu – plocha vytápěného domu
- Technický stav rodinného domu – energetická náročnost budovy
- Topný systém – podlahové vytápění, nebo topný systém s radiátory. Topný systém může být rozdělen od jednoho okruhu a až na několik okruhů. U novostaveb lze předvídat podlahové vytápění. U staršího domu nebude vždy možnost konstrukčně přestavět topný radiátorový systém na podlahové vytápění. Rozhodovat bude cena takové přestavby.
- Ohřev teplé vody, nebo vyhřívání bazénu
- Chlazení v letních měsících
- Výkon tepelného čerpadla – je potřeba znát tepelné ztráty domu, z těchto ztrát lze volit odpovídající typ tepelného čerpadla s daným výkonem
- Klimatickou polohu
- Systém dohřevu – stanovení bodu bivalence
- Dostupnost zdroje nízkopotenciálního tepla – vzduch, země, voda
- Cena za pořízení tepelného čerpadla – návratnost investice

Při optimální volbě bude tepelné čerpadlo pracovat efektivně pro vytápění a pro ohřev užitkové vody. Tím dojde k úspoře nákladů na vytápění. Nesprávně zvolené tepelné čerpadlo bude provozováno neefektivně a tím i neekonomicky. [2, 3, 4]

5. Hybridní vytápění

Hybridní vytápění představuje kategorii zařízení určené k vytápění rodinných domů. Jedná se o kombinaci různých zdrojů tepla do jedné jednotky, se společným řízením. Nejčastěji je to propojení kondenzačního kotle a tepelného čerpadla. Další kombinace jsou např. kotel na tuhá paliva, solární kolektor, plynový kotel. Většinou jsou takové zdroje doplněny o akumulační nádrž. Maximálně lze provozovat tři takové zdroje, větší počet by znamenal složitý projekt a provoz by byl nevhodný. Nesporné výhody těchto kombinací je využití především výhod jednotlivých zdrojů tepla a díky tomu lepší optimalizaci provozních nákladů na vytápění. Výhodou může být provoz jednoho tepelného zdroje při poruše druhého zdroje tepla. [10]



Obrázek 21 Schéma trivalentního hybridního vytápění

Závěr

Bakalářská práce je zaměřena na tepelná čerpadla, jako zdroj k vytápění rodinných domů a zároveň na jednotlivé způsoby vytápění rodinných domů, ať již ve starších rodinných domech, nebo zcela nových domech. Je popsáno vytápění fosilními palivy, jako je uhlí a plyn. Jako další zdroje vytápění, které se v dnešní době používají, jsou dřevo, biomasa, elektřina, tepelná čerpadla. Dnešní ekologické trendy jsou zaměřeny na alternativní zdroje tepla. Naopak na ústupu od zdroje tepla, jako je uhlí, které tvoří nevyhovující emisní normy například znečištění polétavým prachem. Legislativa na to zareagovala zákazem prodeje nevyhovujících kotlů na tuhá paliva. Stále je zde relativní dostupnost tuhých paliv, jako je uhlí, nebo dřevo. Výhoda u dřeva je dostupnost a cena paliva na topnou sezónu. Nevýhodou mohou být skladovací prostory a nutnost výměny starých kotlů, které jsou podmínkou Evropské unie. Podstatnou je i cena za výměnu nevyhovujících kotlů a přechod na alternativní zdroje k vytápění.

Plyn je nejrozšířenějším zdrojem k vytápění rodinných domů v České republice, ale cena plynu se jako u jiných komodit stále zvyšuje. Efektivita dnes používaných kondenzačních kotlů je vysoká i v dobře zatepleném starším rodinném domě nebo zcela novém domě. Kondenzační kotle lze použít i při rekonstrukci starších rodinných domů kdy je použit systém rozvodu otopné vody v radiátoru v případě, že je v rodinném domě nemožná, nebo finančně náročná rekonstrukce otopného systému. Dále lze kondenzační kotel použít jako záložní zdroj při používání tepelných čerpadel v bivalentním režimu. Vytápění plynem je preferované pro svoji dostupnost a jednoduchost ovládání pro majitele v topné sezóně. Nevýhodou vytápění plynem může být nedostupnost plynofikace v některých oblastech České republiky a také neustále se zvyšující cena plynu.

Dalším způsobem vytápění, které se používá, je elektrická energie k vytápění rodinných domů. Dostupnost je téměř všude, ale některé přípojky nemohou být konstruovány pro výkonově silnější kotle. Používají se elektrické kotle, přímotopy, akumulární kamna. Elektrické vytápění patří při pořizovací ceně do skupiny přijatelných. Provoz takového vytápění nebo použití přímotopů je ve starším domě, který má velké tepelné ztráty již ekonomicky náročný. U novostaveb, jakými jsou například pasivní nízkoenergetické domy, je tento druh vytápění realizován. Využívá se elektrický kotel s použitím systému podlahového vytápění, s relativně nízkou teplotou v otopném systému.

Relativně vysoká pořizovací cena je u tepelných čerpadel. Tepelná čerpadla musí být vhodně zvolená, aby byla jejich účinnost i finanční návratnost co nejvíce ekonomická. U starších domů, kde byly rekonstrukcí sníženy tepelné ztráty na minimum, lze při kvalitně zpracovaném projektu provozovat také tepelná čerpadla. Tepelné čerpadlo bude efektivně pracovat v bivalentním, nebo i trivalentním režimu a dohřívání bude zajišťovat například kondenzační kotel, nebo elektrický kotel. U novostaveb se preferuje tepelné čerpadlo vzduch/voda, vzhledem k nízkým tepelným ztrátám celého objektu. Tepelné čerpadlo vzduch/voda bývá doplněné elektrickým kotlem, který je součástí tepelného čerpadla a slouží k dohřívání topného systému. Ve vyšších horských oblastech, kdy je nízká teplota po celou dobu topné sezony, je provozování tepelného čerpadla vzduch/voda neefektivní.

U tepelného čerpadla země/voda je důležitým bodem pro tento typ tepelného čerpadla prostor pro vytvoření konstrukce. Pro zemní kolektor musíme mít větší plochu pozemku, ale do budoucna musíme počítat s tím, že nebude možno tuto část zatěžovat. Za stabilní nízkopotenciální zdroj tepelného

čerpadla se dá považovat vrt. Jeho provedení je vhodné konzultovat s odborníky na geologii. Při špatném podloží může být realizováno několik vrtů a od toho se bude odvíjet cena.

Mezi další tepelné čerpadlo se řadí voda/voda, která jsou použita především tam, kde je dosah vodních toků nebo studen s vhodným chemickým složením vody. Nevýhodou tepelného čerpadla voda/voda je nevhodné chemické složení vody. Při dostupnosti kvalitní vody, vodního toku, můžeme dosáhnout vyšších topných faktorů než u ostatních druhů tepelných čerpadel. Výhodou kvalitní vody pro tepelné čerpadlo voda/voda je stabilní teplota vody po celý rok.

Tepelné čerpadla, pokud jsou vhodně zvolena, zajišťují tepelný komfort jak v zimě, tak i v létě formou klimatizace. Mohou tedy být vhodným zdrojem při přechodu z nevyhovujícího kotle na tuhá paliva. Při přechodu z kotle na tuhá paliva je možnost využití dotačního programu. Výměnou kotle na pevná paliva za tepelné čerpadlo můžeme výrazně v budoucnu ušetřit za provoz na vytápění rodinného domu. Tepelné čerpadlo by mělo být vždy konzultováno s odborníkem v této oblasti. Na trhu je celá řada tepelných čerpadel, které jsou v různé kvalitě zpracování jednotlivých komponentů. Tyto komponenty mají vliv na efektivní provoz tepelného čerpadla.

K vytápění rodinných domů, bývá použito všech dostupných zdrojů tepla i v různých kombinacích jednotlivých zdrojů tepla. Ovšem ne vždy jsou správně použité. V některých případech se rodinné domy nevhodně přetápí, jsou špatně odvětrány, nebo dochází k tepelným ztrátám a tím vzniká neefektivní provozování vytápění. Neefektivní vytápění vede k zbytečně vynaloženým financím za provoz.

Bibliografie

1. Hradílek, Zdeněk, Lázníčková, Ivana a Král, Vladimír. *ELektroteplená technika*,. Praha : ČVUT, 2011. **ISBN 978-80-01-043938-9**.
2. Tepelné čerpadlo pro rodinný dům : Abeceda tepelných čerpadel. [Online] www.abeceda-cerpadel.cz/cz/tepelne-cerpadlo-pro-rodinny-dum.
3. Tepelná čerpadla pro rodinné domy - PZP HEATING. [Online] <https://www.tepelna-cerpadla-pzp.cz/cs/m-8-tepelna-cerpadla-pro-rodinne-domy>.
4. Vytápění - TZB-info. [Online] <http://vytapani.tzb-info.cz>.
5. Typy tepelných čerpadel. [Online] <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/typy-tepelnych-cerpadel.html>.
6. Viadrus. [Online] <https://www.viadrus.cz/plynove-kotle/>.
7. AC HEATING. [Online] <https://www.ac-heating.cz/tepelna-cerpadla/>.
8. IVT Tepelná čerpadla. [Online] <https://www.cerpadla-ivt.cz/>.
9. Vytápění - TZB-info. [Online] <https://vytapani.tzb-info.cz/13838-program-hybridnich-zarizeni-na-olej-plyn-a-elektřinu-a-teplo-z-okolního-prostředí>.
10. Vytápění, průmyslové energetické systémy, chladicí systémy – Viessmann je Váš poskytovatel řešení ve všech oblastech. [Online] <https://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/hybridni-zarizeni/plynova-hybridni-zarizeni.html>.
11. Vytápění - TZB-info. [Online] 16. únor 2021. <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/20690-prodeje-teplovodnich-zdroju-tepla-pro-vytapani-do-50-kw-propad-kotlu-na-pevna-paliva>.
12. Vytápění - TZB-info. [Online] <https://vytapani.tzb-info.cz/docu/clanky/0207/020786o1.jpg>.
13. Vytápění - TZB-info. [Online] <https://vytapani.tzb-info.cz/vymeny-kotlu/19079-typy-teplovodnich-kotlu-na-pevna-paliva>.
14. Vytápění - TZB-info. [Online] <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypočty/11-vyhřevnosti-paliv>.
15. Vytápění - TZB-info. [Online] <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypočty/12-vyhřevnosti-a-merne-jednotky-palivoveho-dreva>.
16. Vytápění - TZB-info. [Online] <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13498-kompresory-pro-tepelna-cerpadla>.
17. Gero top. [Online] <https://www.gerotop.cz/hloubkove-vrty-pro-tepelna-cerpadla>.
18. Centrum pasivního domu. [Online] <https://www.pasivnidomy.cz/co-je-pasivni-dum/t2?chapterId>.
19. Ministerstvo průmyslu a obchodu. [Online] <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/tuha-paliva/prodej-kotlu--kamen--krbovych-vlozek-a-sporaku-na-pevna-paliva-do-50-kw--249653/>.

20. Vytápění - TZB-info. [Online] <https://www.tzb-info.cz/3611-stacionarni-kondenzacni-kotle-vaillant-ecocraft>.
21. viessmann. [Online] <https://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/elektricke-systemy/elektricke-kotle/vitotron-100.html>.
22. EKODRILL tepelná čerpadla. [Online] <https://www.ekodrill.cz/tepelna-cerpadla.html>.
23. Vytápění - TZB-info. [Online] <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12401-postup-pri-navrhu-tepelnych-cerpadel>.
24. e - chlady. [Online] <https://www.e-chlady.cz/chlady-rozdeleni-p112.htm>.
25. ENERGOEKONOM. [Online] <https://www.energoekonom.cz/produkty-pajene-deskove-vymeniky-bhe-265>.
26. CIAT čerpadla. [Online] <http://www.ciat.cz/vymeniky-tepla/lamelove-vymeniky>.
27. Vytápění - TZB-info. [Online] <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9147-ac-heating-factory-ovlivnujici-ucinnost-tepelnych-cerpadel>.